

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

視障點字印表機傳動系統減振與列印控制之分析設計與製作 To the Vibration Suppression and Print Control in Designing and Manufacturing the Transportation System of a Braille Printer

計畫編號：NSC 90-2213-E-032-023

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：蔡慧駿 淡江大學機械工程學系

共同主持人：葉豐輝 淡江大學機械工程學系

計畫參與人員：洪錫銘 張國瑞 淡江大學盲生資源中心

黃子能 丁國書 淡江大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫旨在分析一具凹凸兩衝擊頭視障用點字印表機列印傳動系統之動態行為並執行減振設計以降低點字衝擊頭模組之定位振盪量，使達到精確定位及提升列印速度之目標。此外亦針對列印執行規劃設計，完成傳動程序控制程式與展示軟體。

關鍵詞：視障用點字印表機、傳動系統、減振、列印控制

Abstract

The integration of vibration suppression and print control to the transportation system of a newly designed Braille printer is studied and achieved in this project. The overshoot of the stepping motor, which drives the transportation system, is reduced and the vibration of the transportation system is also suppressed. Other than these, software for printing format and the related transportation system position control commands are designed. The Braille printer head is precisely controlled and the printing speed can be highly increased.

Keywords: Braille Printer, Transportation System, Vibration Suppression, Print Control

二、緣由與目的

視障輔具包括點字印表機(Braille Printer)、點字顯示器(Braille Display)、視障用電腦(Braille Computer)、語音合成器(Text-to-Speech System)等等[1,2]。其中點字(Braille)是視障者藉由觸覺輔助學習之一重要媒介。

點字印表機的字印方式主要分為衝擊式與非衝擊式兩種。非衝擊式的印表機有利用融化之塑膠擠至印表紙上，冷卻後產生凸點點字[3]；或利用影印機影印在特殊材質的印表紙上，經高溫加熱膨脹浮凸產生所要之點字或圖形[4]。惟衝擊式印表機在使用上仍佔最大多數。其列印原理係利用凹凸形狀之衝擊桿結合凸凹形狀之點字模版，衝擊通過的印表紙產生凸凹形狀的點字碼；本計畫研究者即屬此類[5]。

衝擊式印表機傳動列印過程在控制器設計中必需兼顧到定位精度、減振、量產容易與低成本等考量。顯然的，需由列印規劃、電路控制設計與傳動系統動態設計等加以整合，才可以達到點字碼位置精確、避免盲人觸覺上的錯誤認知。

視障用點字印表機國內並未製造、以進口為主，其價格昂貴並非國內視障者所能負擔。為建立視障用點字印表機定位、列印控制及列印功能與技術並降低其成本，本計畫遂以其關鍵技術即傳動系統動態減振設計與列印控制設計為研究重點。藉由列印前處理、資料傳輸、印表機傳動機構控制和傳動機構等軟、硬體整合完成

一視障用點字印表機系統。

三、研究流程

傳動機構動態分析與減振設計和點字列印規劃設計之研究流程茲簡述如下：

- (一) 建立傳動系統自由體圖與動態方程組
建立步進馬達電路、馬達力矩輸出與主動輪傳動耦合、點字衝擊頭水平運動、惰輪與傳動皮帶之力矩平衡方程式。
- (二) 完成傳動系統動態頻域響應分析
探討命令與步進馬達轉角、惰輪轉角、點字衝擊頭模組之傳輸關係並了解相對之振盪量與最大超越量。
- (三) 完成步進馬達回授補償設計
由馬達之驅動電路抓取電流訊號進行步進馬達本體回授補償減振設計。
- (四) 完成振動抑制分析與設計
進行傳動系統無因次化分析、掌握振動控制因子以降低點字衝擊頭模組之振盪量與最大超越量。
- (五) 完成中英文轉換點字及輸出版面程序
將中英文文件檔轉換點字及版面。
- (六) 完成點字方雙面列印規劃
採內線法進行正反面點字穿插列印。執行反面資料的反轉(Mirror)動作以同時列印正反面。
- (七) 完成列印幾何位置與傳動位置規劃
依點字方規格進行正反點幾何位置計算，再進行傳動系統傳動位置步階規劃。
- (八) 完成列印模擬展示程式
撰寫模擬程式展示點字經前置處理及傳動控制之列印成果。

四、結果與討論

典型的點字衝擊頭傳動機構(圖一)可分為步進馬達之電樞電路系統、步進馬達力矩輸出與主動輪耦合傳動系統、點字衝擊頭定位系統與惰輪傳動系統四個部分。傳動系統可簡化如圖二之示意圖以推導動態方程組。

依示意圖、動態方程組可推導如下：

1、步進馬達電路方程式

$$di_a/dt = (V_a - Ri_a + K_e \dot{\theta}_1 \sin(P\theta_1))/L \quad (1)$$

$$di_b/dt = (V_b - Ri_b - K_e \dot{\theta}_1 \cos(P\theta_1))/L \quad (2)$$

2、馬達力矩輸出與主動輪傳動耦合方程式

$$J_1 d\dot{\theta}_1/dt = -K_t i_a \sin(P\theta_1) + K_t i_b \cos(P\theta_1) - B\dot{\theta}_1 - (SK_1 + SK_3)r_p^2\theta_1 + SK_3r_p^2\theta_2 + SK_1r_px \quad (3)$$

3、點字衝擊頭之水平運動方程式

$$M d^2x/dt^2 + C_c dx/dt + (SK_1 + SK_2)x + f_c = SK_1r_p\theta_1 + SK_2r_p\theta_2 \quad (4)$$

4、惰輪與傳動皮帶之力矩平衡方程式

$$J_2 d^2\theta_2/dt^2 + SK_2r_p^2\theta_2 + SK_3r_p^2(\theta_2 - \theta_1) = SK_2r_px \quad (5)$$

式中 R 為電阻， L 為電感， i_a 、 i_b 為 A、B 相線圈電流， V_a 、 V_b 為 A、B 相線圈輸入電壓， P 為馬達轉子齒數， K_e 為反電動勢常數， K_t 為力矩常數， θ_1 為馬達旋轉角度， $\dot{\theta}_1$ 為馬達旋轉角速度， B 為馬達黏滯係數， J_1 為馬達轉子與主動輪慣性， r_p 為主動輪與惰輪半徑， x 為點字衝擊頭之位置， M 為點字衝擊頭滑架質量， f_c 為點字衝擊頭滑架摩擦常數， C_c 為點字衝擊頭滑架黏滯常數， SK_1 、 SK_2 、 SK_3 為皮帶彈性常數， J_2 為惰輪慣性， θ_2 為惰輪旋轉角度。

研究時首先以一相激磁電壓交互驅動以了解傳動系統整體特性。此時驅動訊號為 $V_a = K_v \cos(P\theta_r)$ 、 $V_b = K_v \sin(P\theta_r)$ 其中 K_v 為步進馬達 A、B 相定子線圈之電壓。 θ_r 為步進馬達輸入角位移。

傳動系統動態頻域響應分析中將省略 f_c 與 C_c 兩常數並以衝擊頭末速為零與任一定位值為操作點進行動態方程組線性化。於參考步進馬達技術資料[6]後設定 A、B 相定子線圈與驅動器之最大電流為 1.2 安培。由於馬達系統總電阻 R 為 7 歐姆，可推得 K_v 值為 8.4 伏特。此外測得 SK_1 、 SK_2 、 SK_3 三彈性值約為常數為 50000N/m。配合表一所列之系統參數即可由線性化及拉氏轉換後之動態方程組獲得主動輪輸出轉角、惰輪輸出轉角及點字衝擊頭水平位移相對於輸入轉角命令之傳輸函數。

規劃之點字衝擊頭位移最大超越量應小於 2%、上升時間小於 0.005 秒及安定時間小於 0.01 秒。初步分析結果顯示以開迴路電壓控制傳動系統時將不符規格。為不增加硬體成本，本研究直接從步進馬達之

驅動電路中抓取兩相電流訊號 i_a 與 i_b 作為回授補償提高控制性能。即

$$V_a = (K_1 + K_2)i_a - aK_2h_a + K_v \cos(P\theta_r) \quad (6)$$

$$V_b = (K_1 + K_2)i_b - aK_2h_b + K_v \sin(P\theta_r) \quad (7)$$

其中 $\dot{h}_a = -ah_a + i_a$, $\dot{h}_b = -ah_b + i_b$, a 、 K_1 及 K_2 為三個回授增益參數。對應之電流回授補償操作點 \bar{i}_a 與 \bar{i}_b 分為

$$\bar{i}_a = K_v \cos(P\theta_0)/(R - K_1) \quad (8)$$

$$\bar{i}_b = K_v \sin(P\theta_0)/(R - K_1) \quad (9)$$

經推導步進馬達機械之黏滯摩擦常數為 $B_m = 2J_1\zeta_m\sqrt{K_1K_vP/((R - K_1)J_1)}$ 其中 ζ_m 為機械阻尼比，其設計值為 $\sqrt{2}$ 。步進馬達之共振頻率為 $\sqrt{K_1K_vP/((R - K_1)J_1)}$ 。步進馬達電路系統阻尼為 B_e 。

$B_e(s) = K_e K_1 (s + a)/(Ls^2 + s(R - K_1 + aL - K_2 + a(R - K_1)))$, $B_e = B_m - B$, B 為步進馬達黏滯常數。

設計上可調整 a 、 K_1 、 K_2 ，以使步進馬達電路系統之特徵方程式有寬的頻寬與高的增益。經推導

$$K_1 = R - K_e K_1 / (2\zeta_m \sqrt{1.2K_1PJ_1} - B) \quad (10)$$

此外則以步進馬達機械系統共振頻率之一百倍設計參數 a

$$a = 100\sqrt{K_1K_vP/((R - K_1)J_1)} \quad (11)$$

最後可求得

$$K_2 = R - K_1 + aL - 2L\zeta_e\sqrt{a(R - K_1)/L} \quad (12)$$

式中 ζ_e 為電路阻尼比，其值設計為 1.0。

將回授參數與表一中所列之步進馬達參數代入線性化之步進馬達電流回授動態方程矩陣中即可獲得圖三步進馬達轉角及點字衝擊頭位移傳輸函數頻率響應。

圖三顯示電流回授補償可降低步進馬達轉角振動量。同時惟有提升點字衝擊頭水平振動頻率，使之趨近步進馬達系統之振動頻率，如此才得以有效地抑制點字衝擊頭振動量與最大超越量。

由無因次分析得知點字衝擊頭水平位移振動與點字衝擊頭與滑架質量及傳動皮帶剛性有關即 $F^* = \sqrt{SK_1/(Ms_0^2)}$ 。依序提高 F^* 從原先之 53.6511 至 169.6597，使之逐漸趨近於步進馬達之振動頻率(188.1766 Hz)。此設計變更同理於減低點字衝擊頭與滑架質量或提高傳動皮帶剛性。如此即可達到點字衝擊頭之最大超越量 1.8868%、

上升時間 0.0045 秒及安定時間 0.0083 秒符合設計性能需求。 F^* 變異之點字衝擊頭位移傳輸函數如圖四所示。

點字印表機列印架構概分三部分，點字印表機前置處理、資料傳輸、傳動機構控制如圖五所示。前置處理主要將中文讀音及英文資料轉換成之點字符號並與列印版面格式控制結合，資料傳輸單元則將前置處理資料經由交握通訊傳給傳動機構控制，執行實際單面或雙面列印動作。

本研究點字列印格式預設為 A4 紙張、每列 27 個點字方、每頁 24 列、內線法之雙面列印。使用 c++ 及 VB 撰寫點字列印傳動程序控制程式(圖六)及列印模擬軟體(圖七)。有了紙張、版面配置與點字規格等相關列印屬性後即可再配合控制電路(圖八)、點字印表機傳動機構進行列印。

五、計畫成果自評

- (一) 本研究內容與原計畫規劃完成相符、達成預期目標。
- (二) 完成傳動系統動態方程組推導、傳動系統動態頻域響應分析、步進馬達回授補償設計、振動抑制分析與設計。
- (三) 完成英文及中文字讀音轉換點字程序、點字方雙面列印規劃、列印幾何位置與傳動位置規劃、列印前置處理程序模擬展示程式、經測試與修正其功能符合視障者之需求。

六、參考文獻

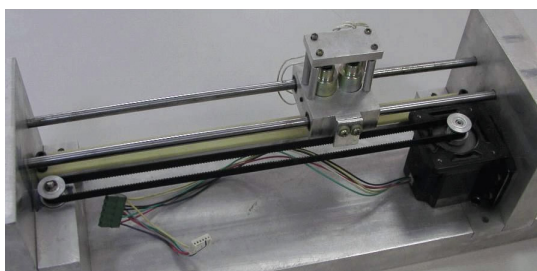
- [1] 杞昭安, “視覺障礙者輔具簡介,” 國立師範大學特殊教育學系, 1999.
- [2] 萬明美, “眼科學與視障工學,” 五南圖書出版公司, 2000.
- [3] T. Otake, T. Saito, and Y. Yonezawa, “Braille Printer Using Hot-Melt Material,” *Journal of Microcomputer Applications*, **13**(2), 123-131, 1990.
- [4] Y. Yonezawa and K. Itoh, “A Method of Non-Impact Braille Printer by Electro-thermosensitive Process,” *Electronics and Communications in Japan, Part2*, **71**(11), 1-10, 1988.
- [5] 洪錫銘, 葉豐輝, 蔡慧駿 “盲用點字印表機之

雙面打印驅動機構新型專利”(新型第 169846 號)。

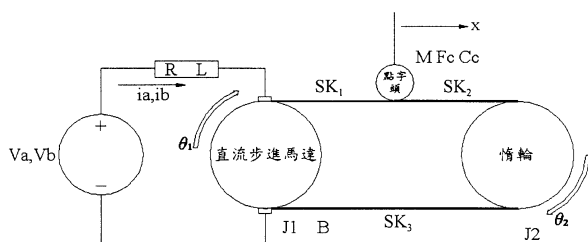
[6] Oriental Motor, Stepping Motor Data Book

表一：系統參數

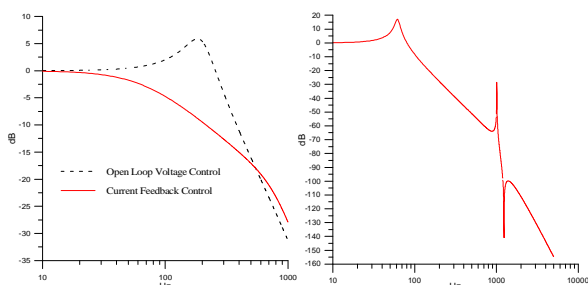
參數名稱	符號	參數值	單位
滑塊與衝擊頭質量	M	0.144	Kg
主動輪與惰輪半徑	r_p	0.0075	m
馬達黏滯常數	B	0.001	N·m/Amp
馬達相電感	L	0.0011	H
馬達反電動勢常數	K_e	0.1589	V/(rad/s)
馬達力矩常數	K_t	0.3178	N·m/Amp
控制器外加電阻	R	2	Ω
馬達相電阻		5	Ω
馬達轉子之慣性矩	J_1	1.35E-5	Kg·m ²
主動輪之慣性矩		1.4E-7	Kg·m ²
惰輪之慣性矩	J_2	1.4E-7	Kg·m ²
轉子齒數	P	50	



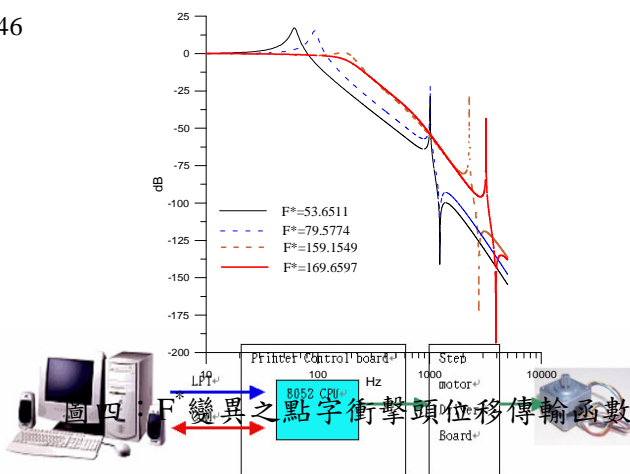
圖一：點字衝擊頭傳動機構



圖二：傳動系統示意圖



圖三：步進馬達轉角及點字衝擊頭位移傳輸函數頻率響應



圖五：列印架構示意圖

例印雙面，每頁一行，每行10bytes
請輸入第一頁的資料：請輸入第二頁的資料：
(1 0) (1 0) (1 1) (1 1) (1 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)
(0 0) (1 0) (0 0) (0 1) (0 1) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)
(0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)
(1 0) (1 0) (1 0) (1 0) (1 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)

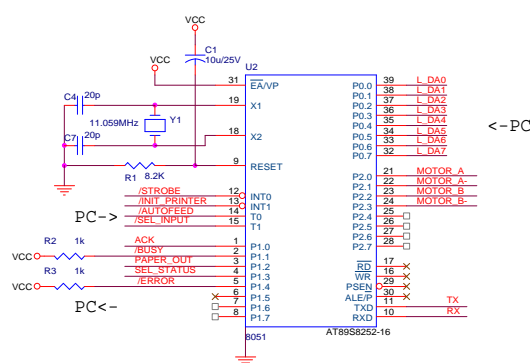
(0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)
(0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (1 0) (1 1) (1 1) (1 0) (1 0)
(0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 1) (0 1) (0 0) (0 0)
(0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0) (0 0)

正1: 0.0 3.0 3.0 1.0 2.0 1.0 2.0
反1:
正2: 3.0 7.0 3.0
反2: 15.5 3.0 1.0 2.0 1.0 2.0 3.0
正3:
反3: 16.5 3.0 5.0
正4: 0.0 3.0 3.0 3.0 3.0
反4:

圖六：點字列印傳動程序控制程式



圖七：點字列印模擬軟體



圖八：列印控制電路